7В

УДК 519:682.5

Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, А.П. Бень
Одесский национальный морской университет, г. Одесса, Украина
roman.varbanets@gmail.com
Херсонский государственный морской институт, г. Херсон, Украина
ben@kmi.kherson.ua

Использование принципов нечеткой логики в экспертной системе технической диагностики судовых двигателей внутреннего сгорания

В статье рассматривается проблема разработки экспертной системы технической диагностики судовых двигателей внутреннего сгорания. Предложено использование математического аппарата нечеткой логики при формировании матрицы неисправностей, что позволяет повысить достоверность процесса диагностики.

Введение

Анализ эксплуатационных качеств элементов судовых энергетических установок показывает, что наибольшие эксплуатационные потери связаны с отказами главных и вспомогательных дизелей (СДВС). При этом 70 – 90% всех отказов приходится на главные дизели и обслуживающие их системы и 10 – 18% – на вспомогательные дизели. Наиболее частые отказы дизелей (кроме отказов подшипников и элементов кривошипно-шатунного механизма связаны с системами топливоподачи (форсунки и топливные насосы высокого давления (ТНВД)), механизмами газораспределения и цилиндропоршневой группой [1], [2]. В связи с этим диагностика СДВС по параметрам рабочего процесса является актуальной и позволяет техническому персоналу осуществлять эффективную и безаварийную их эксплуатацию.

Важным аспектом технической диагностики СДВС является ее осуществление непосредственно в процессе эксплуатации и снятие необходимых диагностических параметров в режиме реального времени. Авторами разработан и успешно введен в эксплуатацию программно-аппаратный комплекс вибродиагностики основных рабочих параметров СДВС – DEPAS D4.0H [3], [4]. Опыт практического использования комплекса показал, что решение проблемы диагностики неисправностей СДВС требует расширения функциональных возможностей DEPAS D4.0H путем создания специализированной экспертной системы (ЭС) для классификации неисправностей по изменению ключевых рабочих параметров СДВС.

Целью работы является разработка экспертной системы, использующей принципы нечеткой логики, для определения неисправностей СДВС на основе анализа ключевых индикаторных параметров рабочего процесса, получаемых в результате вибродиагностики СДВС программно-аппаратным комплексом DEPAS D4.0H.

Основная часть

Условия эксплуатации судовых дизелей, в отличие от стационарных, характеризуются нестабильностью. Это связано с рядом факторов, характерных для морской эксплуатации: бортовая, килевая и вертикальная качка; переменные влажность, температура и давление окружающей среды; необходимость осуществления маневров и

связанные с этим переменные нагрузочные режимы; частый переход на разные сорта топлив: от легкого дизельного до тяжелого; влияние человеческого фактора.

Вследствие влияния нестабильных внешних факторов судовые дизели эксплуатируются в условиях переменных нагрузок. Регуляторы частоты вращения поддерживают, насколько это возможно, стабильную (заданную) частоту вращения, меняя при этом цикловую подачу топлива в обратной зависимости от нагрузки, согласно закону регулирования. Опыт разработки системы вибродиагностики DEPAS D4.0H позволил выделить наиболее важные индикаторные параметры рабочего процесса, которые могут быть использованы для анализа технического состояния СДВС. Модуль реального времени системы D4.0H обеспечивает непосредственную запись данных рабочего процесса и предварительный расчет 3 ключевых параметров (тактность двигателя определяется автоматически):

– *Pz(Pmax)* – максимальное давление сгорания в цилиндре (среднее, минимальное и максимальное значения за несколько рабочих циклов);

– *RPM* – частота вращения коленчатого вала дизеля;

– *Pt* – среднее давление в цилиндре.

Данные индицирования отдельных цилиндров передаются из модуля D4.0H в компьютер по последовательному интерфейсу. Программное обеспечение системы D4.0H обеспечивает возможность проведения параметрической диагностики рабочего процесса СДВС, путем расчета его индикаторных параметров, представленных на рис. 1 и в табл. 1 и 2 [3-5].

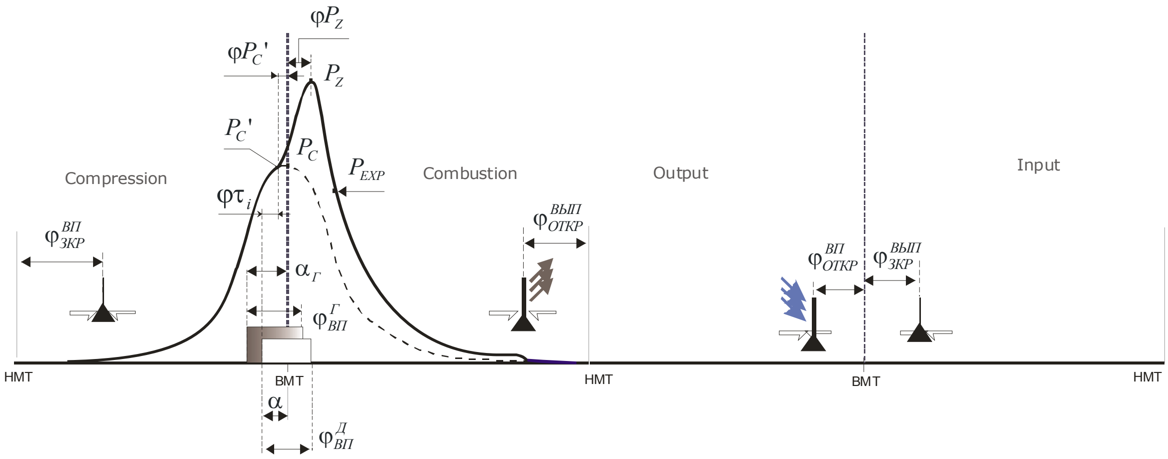


Рисунок 1 – Параметры рабочего процесса, топливоподачи и газораспределения, определяемые системой диагностики рабочего процесса СДВС

Таблица 1 – Индикаторные параметры рабочего процесса

Обозначение		Параметр
p_i	*MIP*	Среднее индикаторное давление
N_i	*iPower*	Индикаторная мощность цилиндра
n	*rpm*	Частота вращения коленчатого вала, мин $^{-1}$
p_C', φ_{Pc}'	$p_{IGN}, \varphi P_{IGN}$	Давление и угол начала самовоспламенения топлива
p_Z, φ_{Pz}	$p_{MAX}, \varphi P_{MAX}$	Максимальное давление сгорания топлива и соответствующий угол поворота коленчатого вала (°ПКВ) за верхней мертвой точкой (ВМТ)
p_C	p_{COMP}	Максимальное давление сжатия в цилиндре
v_m, λ	v_m, λ	Максимальная скорость и степень повышения давления газов при сгорании топлива
p_{36}	$p_{\exp}$	Давление на линии расширения (36° ПКВ за ВМТ)

Таблица 2 – Параметры топливоподачи и газораспределения

Обозначение		Параметр
α , φ_{inj}	$\alpha FPope\imath$, G	Действительные – угол опережения и угол впрыскивания топлива
$\alpha^{Г}$, $\varphi^{Г}{}_{ВП}$	α^{G} , $\varphi^{G}{}_{inj}$	Геометрические – угол опережения и угол впрыскивания топлива
$\varphi\tau_i, \tau_i$	$\varphi_{DEL}, iDel$	Угол и время задержки самовоспламенения топлива
$\varphi_{ОТКР}^{ВП}$, $\varphi_{ЗКР}^{ВП}$	$\varphi_{opn}^{in}, \varphi_{cl}^{in}$	Углы открытия и закрытия впускного клапана (для четырехтактных дизелей)
$\varphi_{ОТКР}^{ВЫП}$, $\varphi_{ЗКР}^{ВЫП}$	$\varphi_{opn}^{exh}, \varphi_{cl}^{exh}$	Углы открытия и закрытия выпускного клапана

Опыт практической эксплуатации системы D4.0H позволил выявить взаимосвязи между наблюдаемыми изменениями индикаторных параметров рабочего процесса, параметрами топливоподачи и типовыми видами неисправностей СДВС. На основе выявленных взаимосвязей была сформирована диагностическая матрица неисправностей, фрагмент которой представлен в табл. 3. Диагностическая матрица является базовым элементом разработанной ЭС, обеспечивающим формирование продукционных правил поиска неисправностей.

Проведенный анализ причин возникновения неисправностей по оцениваемым диагностическим признакам показал, что для формирования диагностической матрицы целесообразно использовать нечеткие оценки изменения параметров рабочего процесса в следующем виде:

«–» – значение параметра уменьшается;
«–0» – значение параметра уменьшается либо не меняется;
«0» – значение параметра не меняется;
«0+» – значение параметра не меняется либо возрастает;
«+» – значение параметра возрастает.

Таблица 3 – Фрагмент матрицы неисправностей узлов СДВС

Неисправность узла СДВС	Параметры рабочего процесса										
	ΔP_i	ΔP_z	ΔP_c	ΔP_s	ΔP_{exp}	$\Delta\varphi z$	ΔTr	$\Delta\varphi inj$	$\Delta\varphi\tau i$	$\Delta\alpha$	$\Delta\varphi Pc'$
Увеличенная подача топлива	+	0+	0+	0+	+	0	+	+	0	0	0
Некачественный распыл	–	–	0	–0	+	+	+	0	+	0	–
Ранняя подача топлива	0+	+	0	0	–	–	–	0	–0	+	0+
Пропуск выпускного клапана	–	–	–	–	–	0+	+	0	0+	0	–0
Потеря плотности поршневых колец	–	–	–	–	–	0+	0+	0	+	0	–0
Износ плунжерной пары ТНВД	–	–	0	–0	0+	+	+	–	+	–	–
Неплотность нагнетательного клапана ТНВД	–0	–	0	–0	+	+	+	0	+	–	–

Использование нечетких оценок в диагностической матрице обеспечивает необходимый уровень точности представления экспертной информации в сочетании с простотой ее формирования на этапе экспертного оценивания.

Из представленной матрицы видно, что конкретный дефект СДВС всегда характеризуется изменением нескольких значений параметров рабочего процесса, что способствует повышению точности проводимой диагностики.

Например, ранний угол опережения подачи топлива α может увеличить (или оставить без изменений) среднее индикаторное давление p_i при том, что однозначно возрастет максимальное давление сгорания p_z, снизится температура выпускных газов Tr, уменьшится давление на линии расширения $p_{\exp}$ и угол φ_{Pz}, при этом возрастет жесткость рабочего процесса, характеризуемая максимальной скоростью v_m и степенью λ повышения давления.

Представленная матрица позволяет упростить процесс перехода от экспертных оценок причин неисправности к продукционным правилам ЭС. При заполнении базы знаний ЭС эксперт имеет возможность визуального контроля соответствия вводимых изменений диагностических признаков и диагностируемых дефектов СДВС.

Пример заполнения диагностической матрицы представлен на рис. 2.

Значительное количество контролируемых параметров рабочего процесса (ПРП) сводит к минимуму возможность ошибочной идентификации неисправности СДВС в ЭС, а интеграция ЭС с системой вибродиагностики D4.0H позволяет сократить время определения неисправности до нескольких минут.

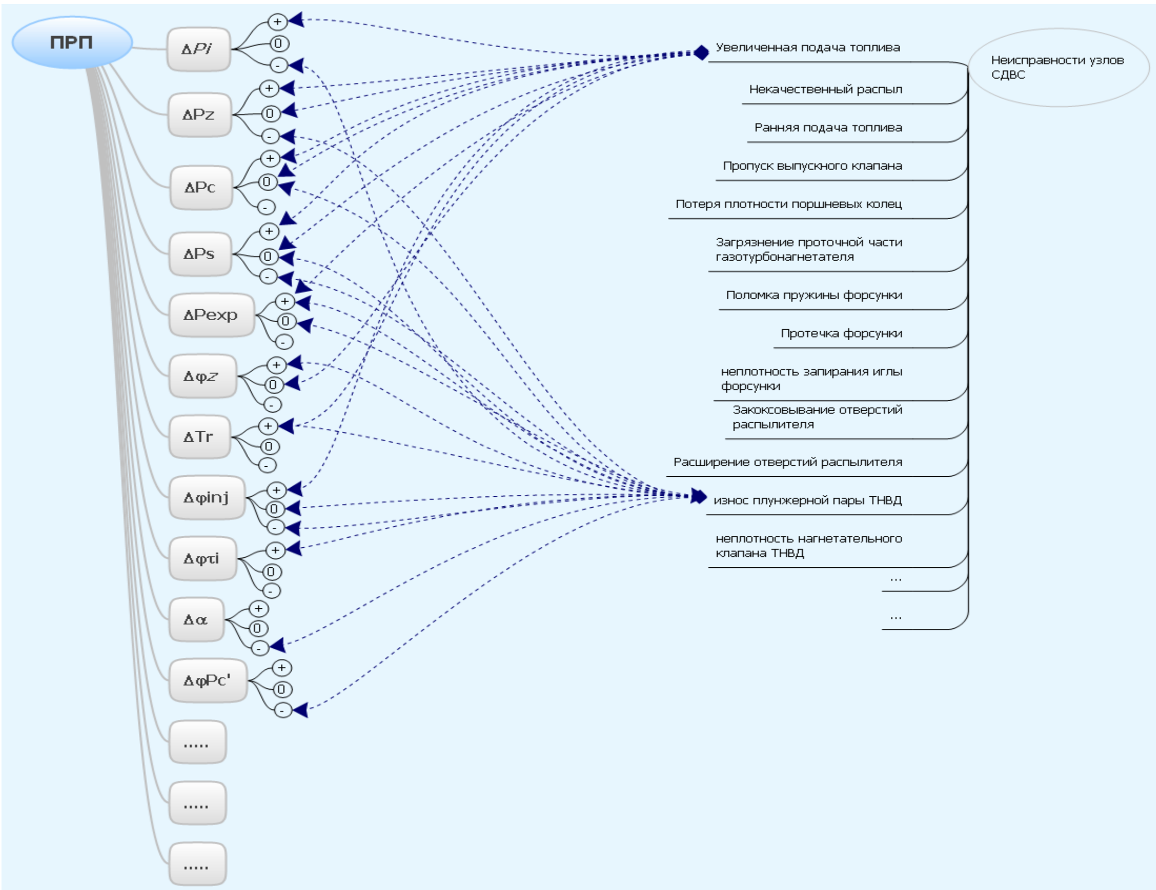


Рисунок 2 – Пример характерных неисправностей СДВС
и соответствующих им изменений параметров рабочего процесса

Выводы

Совместное использование предложенной экспертной системы с программно-аппаратным комплексом виброакустической диагностики рабочих параметров СДВС DEPAS D4.0H обеспечивает повышение экономичности, увеличение ресурсных характеристик и продление межремонтного периода эксплуатации СДВС. Своевременное выявление неисправностей с помощью экспертной системы диагностики на основе нечеткой логики позволяет:

– сократить расход топлива путем своевременного обнаружения и устранения дефектов и нарушений в настройке топливной аппаратуры;

– снизить затраты на техническое обслуживание благодаря уменьшению числа разборок и вскрытий дизелей при переходе от планово-технических норм обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту их по фактическому состоянию;

– снизить затраты на ремонт за счет выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения.

Литература

1. Камкин С.В. Эксплуатация судовых дизелей : учебник для вузов / Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. – М. : Транспорт, 1990. – 344 с.
2. Шишкин В.А. Анализ неисправностей и предотвращение повреждений судовых дизелей / Шишкин В.А. – М. : Транспорт, 1986. – 192 с.
3. Варбанец Р.А. Диагностика рабочего процесса судовых двигателей внутреннего сгорания с определением фаз топливоподачи и газораспределения виброакустическим методом / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – Вип. 2/ 2005(31). – С. 23-26.
4. Варбанец Р.А. Анализ спектра виброакустических сигналов топливной аппаратуры среднеоборотных дизелей (СОД) / Р.А. Варбанец // Вісник Одеського національного морського університету. – 2006. – № 18. – С. 134-141.
5. Варбанец Р.А. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Харьков, 2004. – № 2(5). – С. 138-141.

Р.А. Варбанець, В.Г. Івановський, А.П. Бень

Застосування принципів нечіткої логіки в експертній системі технічної діагностики суднових двигунів внутрішнього згоряння

У статті розглядається проблема побудови експертної системи технічної діагностики суднових двигунів внутрішнього згоряння. Запропоновано застосування нечіткої логіки при формуванні матриці несправностей, що дозволяє підвищити достовірність процесу діагностики.

R.A. Varbanets, V.G. Ivanovsky, A.P. Ben

Use of Principles of Fuzzy Logic in Expert System for Technical Diagnostics Ship's Engines of Internal Combustion

In article the problem of development of expert system for technical diagnostics of ship's engines of internal combustion is considered. Use of the fuzzy logic for formation of a matrix of malfunctions, that allows raising reliability of process of diagnostics, is offered.

Статья поступила в редакцию 30.06.2010.